

Method of soldering semiconductor substrate on supporting plate

Patent Number: US4972988
Publication date: 1990-11-27
Inventor(s): OHDATE MITUO (JP)
Applicant(s): MITSUBISHI ELECTRIC CORP (JP)
Requested Patent: DE4023516
Application Number: US19890422420 19891017
Priority Number(s): JP19890193536 19890725
IPC Classification: H01L21/58
EC Classification: H01L21/60C2
Equivalents: CA2000838, JP3057230

Abstract

In order to solder a silicon substrate on a supporting plate, an aluminum thin plate is inserted therebetween as a solder metal layer. An assembly thus obtained is heated to 580 DEG C. which is higher than the recrystallization temperature 264 DEG C. of the aluminum thin plate but is lower than the eutectic reaction temperature 585 DEG C. of the interface between the silicon substrate and the aluminum thin plate. After the assembly is held at 580 DEG for twenty minutes, the assembly is further heated to 610 DEG C. in order to melt the aluminum thin plate into which silicon atoms are diffused. The aluminum thin plate changes uniformly to an eutectic layer consisting of silicon and aluminum, whereby the silicon substrate is soldered on the supporting plate.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

Docket # P2001,0358

Applic. # _____

Applicant: HOLGER HÜBNER

Lerner and Greenberg, P.A.

Post Office Box 2480

Hollywood, FL 33022-2480

Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101



DEUTSCHES
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 40 23 516.5
②2 Anmeldetag: 24. 7. 90
④3 Offenlegungstag: 7. 2. 91

DE 4023516 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
25.07.89 JP 1-193536

⑦1 Anmelder:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

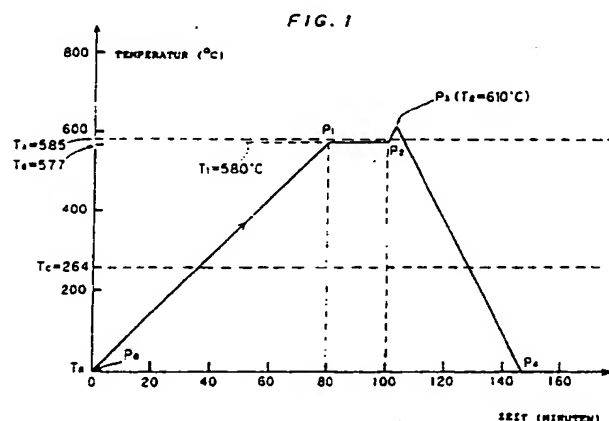
⑦4 Vertreter:
Popp, E., Dipl.-Ing./Dipl.-Wirtsch.-Ing./Dr.rer.pol.;
Sajda, W., Dipl.-Phys.; Reinländer, C., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Bohnenberger, J., Dipl.-Ing./Dr.phil.nat.,
8000 München; Bolte, E., Dipl.-Ing.; Möller, F.,
Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 2800 Bremen

⑦2 Erfinder:
Ohdate, Mituo, Fukuoka, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Auflöten eines Halbleitersubstrats auf eine Trägerplatte

Um ein Siliziumsubstrat (2) auf eine Trägerplatte (4) aufzulöten, wird eine dünne Aluminiumplatte (3) dazwischen als Lotmetallschicht (3) eingebracht. Eine so erhaltene Anordnung (10) wird auf eine Temperatur von 580°C aufgeheizt, die höher ist als die Rekristallisationstemperatur (TC) von 264°C der dünnen Aluminiumplatte (3), aber niedriger ist als die eutektische Reaktionstemperatur von 585°C der Grenzschicht zwischen dem Siliziumsubstrat (2) und der dünnen Aluminiumplatte (3). Nachdem die Anordnung (10) für eine Dauer von 20 Minuten bei 580°C gehalten worden ist, wird die Anordnung (10) weiter auf 610°C aufgeheizt, um die dünne Aluminiumplatte (3) zu schmelzen, in die Siliziumatome eindiffundiert sind. Die dünne Aluminiumplatte (3) geht gleichmäßig in eine eutektische Schicht über, die aus Silizium und Aluminium besteht, so daß das Siliziumsubstrat (2) gleichmäßig auf die Trägerplatte (4) aufgelötet wird.



DE 4023516 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auflöten eines Halbleitersubstrats auf eine Trägerplatte. Dabei geht es insbesondere darum, eine Verschlechterung der elektronischen Eigenschaften des Halbleitersubstrats aufgrund des Lötvorganges zu verhindern und die Effizienz beim Lötvorgang zu verbessern.

Auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie ist es bekannt, daß ein Halbleitersubstrat, in welchem eine oder mehrere elektronische Komponenten ausgebildet sind, bei der Herstellung von Halbleiter- und Leistungshalbleiteranordnungen häufig auf eine Trägermetallplatte aufzulöten ist.

Fig. 6A zeigt eine Anordnung 10, die für das Auflöten eines Wafers oder Siliziumsubstrats 2 auf eine Metallträgerplatte 4 vorbereitet ist. In dem Siliziumsubstrat 2 ist eine Schichtenanordnung aus einem n-Typ Siliziumbereich 2a und einem p-Typ Siliziumbereich 2b ausgebildet, so daß das Siliziumsubstrat 2 als Leistungsdiode mit hoher Durchbruchspannung ausgebildet ist.

Die Metallträgerplatte 4 ist vorgesehen, um das Siliziumsubstrat 2 zu tragen. Die Anordnung 10 ist so aufgebaut, daß eine dünne Aluminiumplatte 3, die als Lotmetallschicht dient, und das Siliziumsubstrat 2 in der angegebenen Reihenfolge auf der Trägerplatte 4 angeordnet sind, wobei darauf ein Gewicht 1 sitzt.

Fig. 7 zeigt ein Diagramm zur Erläuterung der Temperaturänderung in einem Ofen, in welchem die Anordnung 10 aufgeheizt wird, um das Siliziumsubstrat 2 auf die Trägerplatte 4 aufzulöten, und der dargestellte Temperaturverlauf ist im wesentlichen identisch mit dem Temperaturverlauf der Anordnung 10 in den Ofen. Bei dem herkömmlichen Verfahren wird die Temperatur im Ofen von einer Anfangstemperatur oder Raumtemperatur TR in einem Zeitraum von 100 Minuten auf eine Temperatur von 640°C erhöht wird, nämlich in dem Zeitintervall P0 bis P10. Die Temperatur von 640°C ist höher als eine eutektische Reaktionstemperatur TA mit $TA = 585^\circ\text{C}$, die als Übergangstemperatur definiert ist, bei der das Silizium des Halbleitersubstrats 2 und das Aluminium der dünnen Aluminiumplatte 3 geschmolzen sind und eine eutektische Schmelze ergeben, die aus Silizium und Aluminium besteht.

Dann wird die Temperatur in dem Ofen für 10 Minuten, also in dem Zeitintervall P10 bis P11, auf 640°C gehalten. Somit breitet sich der Übergang zur eutektischen Schmelze, die von der Grenzschicht zwischen dem Siliziumsubstrat 2 und der dünnen Aluminiumplatte 3 ausgeht, über den gesamten Bereich der dünnen Aluminiumplatte 3 in dem Zeitintervall P10 bis P11 aus, so daß die dünne Aluminiumplatte 3 in eine eutektische Al-Si-Schmelzschicht übergeht. Die obere Oberfläche der Metallträgerplatte 4 wird mit der eutektischen Al-Si-Schmelze benetzt, so daß das Siliziumsubstrat 2 auf die Trägerplatte 4 aufgelötet wird.

Die Anordnung 10 kühlt dann durch natürliche Wärmeabgabe in dem Zeitintervall P11 bis P12 ab, so daß die eutektische Al-Si-Schmelzschicht sich verfestigt. Das Gewicht 1 wird von der Anordnung 10 entfernt, so daß der Lötvorgang beendet ist.

Fig. 6B zeigt das Siliziumsubstrat 2, das auf die Trägerplatte 4 aufgelötet worden ist, und zwar mit einer festen eutektischen Al-Si-Schicht 3a, die bei dem oben beschriebenen Verfahren erhalten worden ist.

Obwohl die herkömmliche Technik in großem Umfang verwendet worden ist, bietet sie eine Reihe von nachstehend erläuterten Nachteilen. Zunächst einmal

wird die Flachheit oder Ebenheit des Siliziumsubstrats 2 betrachtet. Die Hauptflächen des Siliziumsubstrats 2 werden so weit wie möglich zu Spiegelflächen geformt. Es ist jedoch unmöglich in der Praxis, Unregelmäßigkeiten und Krümmungen der Hauptflächen zu vermeiden. Außerdem haben auch die Oberflächen der dünnen Aluminiumplatte 3 Unregelmäßigkeiten und Krümmungen. Aus diesem Grunde steht die untere Hauptfläche des Siliziumsubstrats 2 in der Anordnung 10 nicht gleichmäßig mit der oberen Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 in Kontakt.

Unter den gegebenen Umständen beginnt die eutektische Al-Si-Reaktion in dem Zeitintervall P10 bis P11 gemäß Fig. 7 nur von den Kontaktbereichen aus, an denen das Siliziumsubstrat 2 in gutem Kontakt mit der dünnen Aluminiumplatte 3 steht, und breitet sich dann zu den anderen Bereichen aus, also den Bereichen ohne Kontakt. Das bedeutet, das Fortschreiten der eutektischen Reaktion ist nicht gleichmäßig auf den jeweiligen Bereichen im Grenzbereich zwischen dem Siliziumsubstrat 2 und der dünnen Aluminiumplatte 3.

In Abhängigkeit von dieser Ungleichmäßigkeit umfaßt in Fig. 6B die Grenzschicht 5 zwischen der eutektischen Al-Si-Schicht 3a und dem Siliziumsubstrat 2 flache Bereiche 5a sowie vorstehende Bereiche 5b, die in das Siliziumsubstrat 2 vorstehen, wobei die Bereiche 5a, 5b den Bereichen ohne Kontakt und den Kontaktbereichen entsprechen.

Infolgedessen treten die folgenden Probleme bei den Halbleiteranordnungen auf, die mit einem solchen Lötverfahren behandelt worden sind:

1) Da die jeweiligen kristallographischen Strukturen der festen eutektischen Al-Si-Schicht 3a und des Siliziumsubstrats 2 voneinander verschieden sind, wird eine ungleichmäßige Beanspruchung bzw. Spannung in dem Bereich des Siliziumsubstrats 2 dicht an der Grenzfläche 5 hervorgerufen, welcher der untere Bereich des p-Typ Siliziumbereiches 2 bei dem Beispiel in Fig. 6B ist. Daher weichen die elektronischen Eigenschaften der Diode von den geplanten und vorgegebenen Eigenschaften ab; zugleich wird die mechanische Festigkeit der Diodenanordnung verringert.

2) Wenn eine Sperrspannung an den p-n-Übergang] der Diode angelegt wird, wird die Dicke der Verarmungsschicht, die sich von dem p-n-Übergang] zu dem p-Typ Siliziumbereich 2b ausbreitet, in den jeweiligen Bereichen ungleichmäßig, da die räumlichen Unregelmäßigkeiten in der Grenzschicht 5 zwischen dem Siliziumsubstrat 2 und der eutektischen Al-Si-Schicht 3a vorhanden sind und die elektronischen Eigenschaften sich lokal voneinander unterscheiden. Infolgedessen konzentrieren sich die elektronischen Felder in der Nähe der vorstehenden Bereiche 5b, und die Diode erleidet einen Durchbruch bei einer relativ niedrigen Spannung. Das herkömmliche Lötverfahren führt aber nicht nur zu den oben beschriebenen Schwierigkeiten, sondern bringt auch die folgenden Probleme mit sich.

3) Da die eutektische Reaktion von den Kontaktbereichen ausgeht und sich dann zu den Bereichen ohne Kontakt ausbreitet, ist der Vorgang bzw. das Fortschreiten der eutektischen Reaktion ziemlich langsam, und die Trägerplatte 4 kann nicht ausreichend mit der eutektischen Al-Si-Schmelze benetzt werden, wenn die Anordnung 10 nicht bei einer

relativ hohen Temperatur in dem Zeitintervall P10 bis P11 gehalten wird. Somit muß die maximale Temperatur in dem Ofen, die in dem Zeitintervall P10 bis P11 auftritt, relativ hoch sein, und daher wird die thermische Beanspruchung der Diode sehr hoch.

Um die Ausbreitung der eutektischen Reaktion in den Bereichen ohne Kontakt zu beschleunigen, müßte die dünne Aluminiumplatte 3 ausreichend aufgeheizt werden, bevor die eutektische Reaktion gestartet wird. Somit sollte die Heizgeschwindigkeit in dem Zeitintervall P0 bis P10 relativ klein sein, so daß die entsprechenden Bereiche der dünnen Aluminiumplatte 3 in dem Zeitintervall P0 bis P10 für ihre thermische Aktivierung ausreichend vorgeheizt wird. Infolgedessen ist die Gesamtzeit sehr lang, die für die Durchführung des herkömmlichen Lötverfahrens erforderlich ist.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Auflöten eines Halbleitersubstrats auf eine Trägerplatte anzugeben, welche das Halbleitersubstrat trägt, bei dem keinerlei ungleichmäßige Spannungen in dem auf die Trägerplatte aufgelöteten Halbleitersubstrat hervorgerufen werden, so daß eine hohe Durchbruchspannung sowie einwandfreie elektronische Eigenschaften in der Halbleiteranordnung erzielt werden, wenn diese aufgelötet worden ist.

Dieses Problem wird gemäß der Erfindung in zufriedenstellender Weise gelöst. Dabei kann in vorteilhafter Weise erreicht werden, daß die maximale Temperatur beim Heizungsablauf während des Lötvorganges reduziert wird, so daß sowohl die thermische Beanspruchung in dem Halbleitersubstrat als auch die aufzuwendende elektrische Energie für den Lötvorgang verringert werden können. Weiterhin kann die gesamte Zeitdauer zur Durchführung des Lötvorganges verkürzt werden.

Gemäß der Erfindung umfaßt das Verfahren folgende Schritte: (a) Vorbereiten einer Anordnung, bei der eine Lotmetallschicht zwischen dem Halbleitersubstrat und der Trägerplatte eingebracht wird; (b) Aufheizen der Anordnung auf eine erste Temperatur, die höher ist als eine Rekristallisationstemperatur der Lotmetallschicht, aber niedriger als ein erster Schmelzpunkt, bei dem ein Teil der Lotmetallschicht, der mit dem Halbleitersubstrat in Kontakt steht, zu schmelzen beginnt; (c) Halten der Anordnung bei der ersten Temperatur für ein vorgegebenes Zeitintervall; (d) Aufheizen der Anordnung auf eine zweite Temperatur, die höher ist als der erste Schmelzpunkt; und (e) Abkühlen der Anordnung von der zweiten Temperatur auf eine dritte Temperatur, die niedriger ist als die erste Temperatur.

Bei einer Ausführungsform gemäß der Erfindung wird die erste Temperatur so gewählt, daß eine Differenz zwischen der ersten Temperatur und dem ersten Schmelzpunkt kleiner ist als eine Differenz zwischen der ersten Temperatur und der Rekristallisationstemperatur.

Vorzugsweise wird die erste Temperatur so gewählt, daß sie in einem Temperaturbereich um einen zweiten Schmelzpunkt liegt, bei dem eine Legierung, bestehend aus dem das Halbleitersubstrat bildenden Halbleitermaterial und dem die Lotmetallschicht bildenden Lotmetall, zu schmelzen beginnen.

Die Lotmetallschicht wird beim Schritt (c) erweicht, und ihre Oberfläche wird verformt. Lokale Spalten oder Zwischenräume, die im Grenzbereich zwischen dem Halbleitersubstrat und der Lotmetallschicht vorhanden sein mögen, werden mit dem verformten Lotmetall ge-

füllt, und das Halbleitersubstrat kommt vollständig in Kontakt mit der Lotmetallschicht. Das bedeutet, die Oberfläche der Lotmetallschicht wird an die Oberfläche des Halbleitersubstrats angepaßt.

Da die erste Temperatur höher ist als die Rekristallisationstemperatur der Lotmetallschicht, wird die Härte der Lotmetallschicht bei der ersten Temperatur sehr niedrig, und es wird eine plastische Verformung in der Lotmetallschicht hervorgerufen. Die erste Temperatur, die niedriger ist als der erste Schmelzpunkt des Teiles der Lotmetallschicht, die mit dem Halbleitersubstrat in Kontakt steht, wird als "Grenzschicht-Schmelzpunkt" bezeichnet, und somit wird die Lotmetallschicht beim Schritt (c) nicht geschmolzen.

Wenn der Schritt (d) durchgeführt wird, nachdem der Schritt (c) beendet ist, wird die Anordnung auf die zweite Temperatur aufgeheizt, die höher ist als der Grenzschicht-Schmelzpunkt. Infolgedessen beginnt die Lotmetallschicht zu schmelzen. Da die Lotmetallschicht vollständig mit dem Halbleitersubstrat in Kontakt steht, schreitet die thermische Reaktion zwischen der Lotmetallschicht und dem Halbleitersubstrat gleichmäßig in den jeweiligen Bereichen der Grenzschicht fort, und die Lotmetallschicht geht in eine Metall/Halbleiter-Legierungsschicht über. Damit wird verhindert, daß die Metall/Halbleiter-Legierungsschicht teilweise in das Halbleitersubstrat hinein vorsteht.

Da außerdem die Lotmetallschicht vollständig an das Halbleitersubstrat angepaßt worden ist, bevor die Lotmetallschicht geschmolzen wird, ist es nicht erforderlich, die Anordnung für eine lange Zeitdauer bei einer hohen Temperatur zu halten, um das Lotmetall in die Metall/Halbleiter-Legierung umzuwandeln. Die Heizgeschwindigkeit beim Schritt (b) kann hoch sein, da der Vorgang der Anpassung der Lotmetallschicht an das Halbleitersubstrat beim nächsten Verfahrensschritt (c) durchgeführt wird.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfaßt das Verfahren folgende Schritte: (a) Vorgabe eines Lotmetalls; (b) Auffinden einer Erweichungstemperatur, bei der das Lotmetall auf einen vorgegebenen Weichheitswert weich wird; (c) Vorbereiten einer Anordnung, bei der eine Lotmetallschicht aus dem Lotmetall zwischen dem Halbleitersubstrat und der Trägerplatte eingebracht wird; (d) Aufheizen der Anordnung auf eine erste Temperatur, die höher ist als die Erweichungstemperatur, aber niedriger als ein Schmelzpunkt eines Teiles der Lotmetallschicht, der mit dem Halbleitersubstrat in Kontakt steht; (e) Halten der Anordnung bei der ersten Temperatur für eine vorgegebene Zeitspanne; (f) Aufheizen der Anordnung auf eine zweite Temperatur, die höher als der Schmelzpunkt ist; und (g) Abkühlen der Anordnung von der zweiten Temperatur auf eine dritte Temperatur, die niedriger ist als die erste Temperatur.

Ein Grenzbereich zwischen dem Halbleitersubstrat und der Lotmetallschicht in der Anordnung, die beim Schritt (c) vorbereitet wird, kann Kontaktbereiche, in denen das Halbleitersubstrat mit der Lotmetallschicht in Kontakt steht, sowie Bereiche ohne Kontakt aufweisen, in denen das Halbleitersubstrat nicht mit der Lotmetallschicht in Kontakt steht; das bedeutet, daß lokale Spalte oder Zwischenräume, die den Bereichen ohne Kontakt entsprechen, in dem Grenzbereich vorhanden sein können. Vorzugsweise wird der vorgegebene Erweichungswert so bestimmt, daß ein Teil der Lotmetallschicht, die beim Schritt (e) thermisch erweicht wird, mit einer auf den Grenzbereich einwirkenden vorgegebenen Kraft verformt wird, so daß die lokalen Zwischen-

räume mit dem so verformten Teil ausgefüllt werden können.

Die Erweichungstemperatur kann gefunden werden unter Bezugnahme auf die charakteristische Kurve der Härte des Lotmetalles; alternativ dazu kann diese Erweichungstemperatur auch durch Experimente ermittelt werden.

Die Erfindung wird nachstehend, auch hinsichtlich weiterer Merkmale und Vorteile, anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Die Zeichnungen zeigen in

Fig. 1 ein Diagramm zur Erläuterung des Heizungsablaufs für eine Anordnung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2A eine Schnittansicht der Anordnung, bei der eine Lotmetallschicht zwischen einem Halbleitersubstrat und einer Trägerplatte eingebracht ist;

Fig. 2B eine Schnittansicht der Anordnung nach einem Lötvorgang;

Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines kontinuierlich arbeitenden Ofens, der bei der bevorzugten Ausführungsform verwendet wird;

Fig. 4A, 4B und 4C teilweise vergrößerte Schnittansichten der Grenzschicht zwischen dem Halbleitersubstrat und der Lotmetallschicht;

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Ofens für Chargenbetrieb, der bei einer bevorzugten Ausführungsform ebenfalls verwendbar ist;

Fig. 6A eine Schnittansicht einer Anordnung, die einem Lötvorgang unterworfen wird;

Fig. 6B eine Schnittansicht der Anordnung nach einem herkömmlichen Lötvorgang; und in Fig. 7 ein Diagramm zur Erläuterung eines herkömmlichen Heizungsablaufes bei der Anordnung gemäß Fig. 6A.

Im folgenden wird auf Fig. 2A Bezug genommen, die eine Anordnung 10 zeigt, die bei einem Lötvorgang gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung verwendet wird. Die Anordnung 10 hat einen ähnlichen Aufbau wie die Anordnung in Fig. 6A, wobei hierbei folgende Einzelheiten gegeben sind: Das unterste Teil in der Anordnung 10 ist eine Trägerplatte 4, die zum Tragen eines Siliziumsubstrats 2 an ihrer Oberseite dient. Die Trägerplatte 4 besteht aus Molybdän und hat einen Durchmesser $D_4 = 70$ mm und eine Dicke von $H_4 = 3$ mm. In den Figuren der Zeichnungen sind die jeweiligen Dicken der Elemente oder Teile, welche die Anordnung 10 bilden, in übertriebener Weise im Vergleich mit den jeweiligen Durchmessern dargestellt, um die Darstellung zu vereinfachen.

Eine dünne Aluminiumplatte 3 mit einem Durchmesser $D_3 = 69,5$ mm und einer Dicke von $H_3 = 0,03$ mm sitzt auf der oberen Oberfläche der Trägerplatte 4, wobei die dünne Aluminiumplatte 3 als Lotmetallschicht dient. Der Wafer oder das Siliziumsubstrat 2, das sich auf der oberen Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 befindet, hat einen Durchmesser von $D_2 = 69,5$ mm ($= D_3$) und eine Dicke von $H_2 = 0,6$ mm. In dem Siliziumsubstrat 2 sind ein n-Typ Siliziumbereich 2a und ein p-Typ Siliziumbereich 2b ausgebildet, so daß das Siliziumsubstrat 2 als Leistungsdiode mit hoher Durchbruchspannung dient. Der p-Typ Siliziumbereich 2b, also ein Anodenbereich, steht mit der dünnen Aluminiumplatte 3 in Kontakt.

Ein Gewicht 1 mit einem Durchmesser $D_1 = 69$ mm und einer Masse von 0,8 kg sitzt auf der oberen Hauptfläche des Siliziumsubstrats 2. Wie in Fig. 4A dargestellt, die einen vergrößerten Teilschnitt zeigt, können die un-

tere Hauptfläche des Siliziumsubstrats 2, also des p-Typ Siliziumbereiches 2b, und die obere Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 räumliche Ungleichmäßigkeiten und/oder Krümmungen aufweisen. In einem solchen Falle verteilen sich Kontaktbereiche 6a und Bereiche 6b ohne Kontakt statistisch in dem Grenzbereich 6 zwischen dem Siliziumsubstrat 2 und der dünnen Aluminiumplatte 3.

Fig. 3 zeigt einen Ofen 100, der zum Aufheizen der Anordnung 10 verwendbar ist, um die untere Hauptfläche des Siliziumsubstrats 2 auf die obere Oberfläche der Trägerplatte 4 mit der dünnen Aluminiumplatte 3 aufzulöten. Obwohl der Lötvorgang entweder mit einem kontinuierlich arbeitenden Ofen oder mit einem Ofen mit Chargenbetrieb durchgeführt werden kann, ist der Ofen 100 gemäß Fig. 3 von der kontinuierlich arbeitenden Bauart, während ein Ofen mit Chargenbetrieb weiter unten beschrieben ist.

Der Ofen 100 hat ein Quarzheizrohr 101 in der Gestalt eines hohlen Zylinders. Eine Anzahl von Heizeinheiten 102 sind auf dem Heizrohr 101 ausgefluchtet, und jede der Heizeinheiten 102 erzeugt Wärme, wenn sie mit elektrischem Strom versorgt wird, der von einer Stromversorgung 104 über Stromversorgungsleitungen 103 zugeführt wird. Ein Inertgas, beispielsweise Stickstoffgas (N_2 -Gas) wird dem Innenraum des Heizrohres 101 zugeführt.

Durch das Heizrohr 101 hindurchgehend ist ein Förderer 105 vorgesehen, der sich in der axialen Richtung X des Heizrohres 101 mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Eine Anzahl von Anordnungen 10 sind in regelmäßigen Abständen auf dem Förderer 105 angeordnet. Wenn sich der Förderer 105 bewegt, tritt jede der Anordnungen 10 durch eine Öffnung in das Heizrohr 101 ein und, nachdem es einem Lötvorgang in dem Heizrohr 101 ausgesetzt worden ist, verläßt sie das Heizrohr 101 durch die andere Öffnung des Heizrohres 101.

Jede der Heizeinheiten 102 wird individuell mit elektrischem Strom von der Stromversorgung 104 versorgt, und die jeweils zugeführte elektrische Energie für die Heizeinheiten 102 wird so gesteuert, daß die räumliche Temperaturverteilung in dem Heizrohr 101, bezogen auf die Richtung X , sich im wesentlichen mit dem Diagramm in Fig. 1 deckt, wobei man die Zeitachse in Fig. 1 als Abstand in der Richtung X auffaßt. Damit ist die Temperaturänderung, der jede Anordnung 10 unterliegt, welche durch das Heizrohr 101 hindurchgeht, im wesentlichen durch den Graphen in Fig. 1 repräsentiert.

Unter Bezugnahme auf Fig. 1 wird der Lötvorgang gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung näher erläutert. Zunächst wird die Anordnung 10 aufgeheizt, so daß die Temperatur der Anordnung 10 von der Raumtemperatur TR zu einer ersten Temperatur von $T_1 = 580^\circ C$ in 80 Minuten ansteigt, also dem Intervall P_0 bis P_1 . Dann wird die Temperatur der Anordnung 10 bei der ersten Temperatur von $T_1 = 580^\circ C$ für 20 Minuten festgehalten, also im Intervall P_1 bis P_2 .

Das Intervall P_1 bis P_2 ist vorgesehen, damit die oberen und unteren Oberflächen der dünnen Aluminiumplatte 3 durch die Schwerkraft des Gewichtes 1 und des Siliziumsubstrats 2 plastisch verformt werden, und die örtlichen Lücken oder Hohlräume zwischen der dünnen Aluminiumplatte 3 und dem Siliziumsubstrat 2 mit den deformierten Bereichen der dünnen Aluminiumplatte 3 gefüllt werden können, bevor eine eutektische Al-Si-Reaktion an der Grenzschicht zwischen der dünnen Aluminiumplatte 3 und dem Siliziumsubstrat 2 gestartet wird. Nachstehend werden eine Analyse und ein Kriterium

zur Bestimmung der ersten Temperatur T_1 in Abhängigkeit von dem Charakter des Intervalls P_1 bis P_2 angegeben.

Die dünne Aluminiumplatte 3 wird hergestellt durch Walzen eines Aluminiumblocks oder einer Aluminiumplatte, und somit ist eine in Handel erhältliche dünne Aluminiumplatte 3 gehärtet worden durch die Bearbeitung beim Walzen oder dergleichen. Wenn die dünne gehärtete Aluminiumplatte 3 aufgeheizt wird, beginnt eine Rekristallisation der Aluminiumatome bei der dem Material eigenen Rekristallisationstemperatur, und die Härte der dünnen Aluminiumplatte wird bei der Rekristallisationstemperatur drastisch verringert, d.h. die dünne Aluminiumplatte wird weich. Die Rekristallisationstemperatur TC der dünnen Aluminiumplatte 3, die bei einer bevorzugten Ausführungsform verwendet wird, beträgt $TC = 264^\circ\text{C}$. Somit wird die erste Temperatur T_1 bei Temperaturwerten gewählt, die höher sind als die Rekristallisationstemperatur $TC = 264^\circ\text{C}$.

Andererseits hat die eutektische Reaktionstemperatur TA einen Wert von $TA = 585^\circ\text{C}$. Die eutektische Reaktionstemperatur TA entspricht einem Schmelzpunkt der Bereiche der dünnen Aluminiumplatte 3, die mit dem Siliziumsubstrat 2 in Kontakt stehen, der nachstehend als "Grenzschicht-Schmelzpunkt" bezeichnet wird. Mit anderen Worten, die eutektische Reaktionstemperatur TA ist eine Übergangstemperatur, bei der Aluminium und Silizium an der Grenzschicht zwischen dem Siliziumsubstrat 2 und der dünnen Aluminiumplatte 3 beginnen, zu schmelzen und zu einer eutektischen Schmelze zu werden, die im wesentlichen aus Aluminium und Silizium besteht. Die erste Temperatur T_1 wird bei Temperaturwerten gewählt, die niedriger sind als die eutektische Reaktionstemperatur TA .

Gemäß den oben angegebenen beiden Bedingungen wird die erste Temperatur T_1 so gewählt, daß sie innerhalb des nachstehenden Temperaturbereiches liegt:

$$TC < T_1 < TA \quad (1)$$

Im allgemeinen wird eine Lotmetallschicht weich, wenn ihre Temperatur zunimmt. Somit wird bevorzugt, daß die erste Temperatur T_1 innerhalb des Temperaturbereiches gemäß der Beziehung (1) dicht bei der eutektischen Reaktionstemperatur TA liegt. Insbesondere ist dies die beste Methode, daß die erste Temperatur T_1 durch den Schmelzpunkt des Eutektikums bestimmt wird, welches aus dem das Substrat 2 bildenden Halbleiter und dem die Lotmetallschicht 3 bildenden Metall besteht. Dieser Schmelzpunkt wird nachstehend als "eutektischer Schmelzpunkt" bezeichnet. Bei dem Beispiel gemäß Fig. 2A bestehen der Halbleiter und das Metall aus Silizium bzw. aus Aluminium, und somit ist der eutektische Schmelzpunkt der Schmelzpunkt eines Al-Si-Eutektikums.

Es darf darauf hingewiesen werden, daß der "Grenzschicht-Schmelzpunkt" oder die eutektische Reaktionstemperatur TA ein Schmelzpunkt ist, bei dem das Metall und der Halbleiter, die miteinander an der makroskopischen Kontaktgrenzschicht zwischen der Lotmetallschicht und dem Halbleitersubstrat in Kontakt stehen, beginnen, zu schmelzen und eine eutektische Schmelze zu werden, während der "eutektische Schmelzpunkt" ein Schmelzpunkt eines Metall/Halbleiter-Systems ist, das eine eutektische Struktur in einem mikroskopischen oder kristallographischen Sinn bildet. Im allgemeinen erhält man nachstehende Ungleichung (2) aus den Phasendiagrammen von verschiedenen, nicht dargestellten

eutektischen Systemen:

$$TB < TA \quad (2)$$

Der eutektische Schmelzpunkt TB des Al-Si-Systems hat einen Wert von $TB = 577^\circ\text{C}$.

In einem Falle, in welchem das Siliziumsubstrat 2 und die dünne Aluminiumplatte 3 verwendet werden, wie z.B. bei der bevorzugten Ausführungsform, wird die erste Temperatur T_1 so gewählt, daß sie innerhalb des nachstehenden Temperaturbereiches liegt:

$$TC(264^\circ\text{C}) < T_1 < TA(585^\circ\text{C}) \quad (3)$$

und vorzugsweise wird die erste Temperatur T_1 so gewählt, daß sie der nachstehenden Bedingung genügt:

$$T_1 \approx TB(577^\circ\text{C}) < TA(585^\circ\text{C}) \quad (4)$$

Es läßt sich leicht bestätigen, daß eine erste Temperatur T_1 von $T_1 = 580^\circ\text{C}$, die bei der bevorzugten Ausführungsform verwendet wird, die beiden obigen Bedingungen (3) und (4) erfüllt.

Wenn man die Temperatur der Anordnung 10 bei der ersten Temperatur von $T_1 = 580^\circ\text{C}$ für eine vorgegebene Zeitspanne von 5 beispielsweise 20 Minuten hält, wird die obere Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 plastisch verformt aufgrund der Schwerkraft des Gewichtes 1 und der anderen Teile, die auf der dünnen Aluminiumplatte 3 liegen. Infolgedessen werden die Zwischenräume oder Bereiche 6b ohne Kontakt mit den deformierten Bereichen der dünnen Aluminiumplatte 3 gefüllt, so daß der p-Typ Siliziumbereich 2b und die dünne Aluminiumplatte 3 an der gesamten Grenzschicht zwischen ihnen in Kontakt miteinander kommen, wie es in Fig. 4B dargestellt ist, so daß sich eine Grenzschicht 7 ergibt.

Mit anderen Worten, die obere Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 paßt sich an die untere Oberfläche des Siliziumsubstrats 2 an, wenn man die Anordnung 10 bei der ersten Temperatur T_1 hält. Außerdem kommt die untere Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 vollständig mit der oberen Oberfläche der Trägerplatte 4 in Kontakt, und zwar durch diese plastische Verformung. In dem Intervall P_1 bis P_2 werden Siliziumatome und Aluminiumatome durch die Grenzschicht 7 zwischen der dünnen Aluminiumplatte 3 und dem p-Typ Siliziumbereich 2b ausgetauscht durch Grenzschichtdiffusion oder Korndiffusion dieser Komponenten.

In dem nächsten Intervall P_2 bis P_3 in Fig. 1 wird die Temperatur der Anordnung 10 erhöht von der ersten Temperatur $T_1 = 580^\circ\text{C}$ auf eine vorgegebene zweite Temperatur $T_2 = 610^\circ\text{C}$. Die zweite Temperatur T_2 ist höher als die eutektische Reaktionstemperatur $TA = 585^\circ\text{C}$. Wenn die Temperatur der Anordnung 10 die eutektische Reaktionstemperatur von $TA = 585^\circ\text{C}$ erreicht und überschreitet, wird ein Bereich der dünnen Aluminiumplatte 3, der mit dem Siliziumsubstrat 2 in Kontakt steht, zusammen mit den darin diffundierten Siliziumatomen geschmolzen, und es beginnt eine eutektische Reaktion, so daß die angrenzenden Bereiche der Grenzschicht 7 zu einer eutektischen Al-Si-Schmelzschicht 3b werden, wie es Fig. 4C zeigt.

Dann breitet sich die eutektische Reaktion in die jeweiligen Bereiche der dünnen Aluminiumplatte 3 aus und die gesamte dünne Aluminiumplatte 3 geht in eine eutektische Al-Si-Schmelzschicht 3b über. Die obere

Oberfläche der Trägerplatte 4 wird mit der eutektischen Al-Si-Schmelze benetzt, so daß das Siliziumsubstrat 2 auf die Trägerplatte 4 aufgelötet wird.

Anschließend wird die Anordnung 10 in dem nächsten Intervall P3 bis P4 auf Raumtemperatur TR abgekühlt, und zwar durch natürliche Wärmeabgabe, also durch natürliches Abkühlen durch Beenden der Beheizung, so daß die eutektische Al-Si-Schmelzschicht 3b sich verfestigt und in eine eutektische Al-Si-Festkörperschicht übergeht. Das Gewicht 1 wird dann von der Anordnung 10 entfernt, und der Lötvorgang ist nun beendet.

Die charakteristischen Vorteile eines Lötvorganges gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind folgende:

1) Die eutektische Reaktion von Aluminium und Silizium schreitet gleichmäßig von den jeweiligen Bereichen in der oberen Oberfläche der dünnen Aluminiumplatte 3 fort, da die eutektische Reaktion unter der Voraussetzung beginnt, daß die dünne Aluminiumplatte 3 vollständig mit dem Siliziumsubstrat 2 in Kontakt steht. Infolgedessen steht die eutektische Al-Si-Schicht 3b nicht teilweise in den p-Typ Siliziumbereich 2b in einer Anordnung 20 gemäß Fig. 2B vor, die mit einem Lötverfahren erhalten wird. Infolgedessen wird in dem Siliziumsubstrat 2 keine lokale Beanspruchung hervorgerufen, und somit werden in wirksamer Weise Anomalitäten im elektronischen Charakter der erhaltenen Diode sowie eine Abnahme der mechanischen Festigkeit der Diode verhindert.

2) Wenn eine Sperrspannung an die Diode angelegt wird, dehnt sich eine Verarmungsschicht in gleichmäßiger Weise von dem p-n-Übergang Y in den p-Typ Siliziumbereich 2b aus, da die eutektische Al-Si-Schicht nicht teilweise in den p-Typ Siliziumbereich 2b vorsteht. Somit hat die Diode eine hohe Durchbruchspannung.

3) Da die eutektische Reaktion durchgeführt wird unter der Voraussetzung, daß die dünne Aluminiumplatte 3 mit dem Siliziumsubstrat 2 vollständig in Kontakt steht, kann die maximale Temperatur beim Lötvorgang verringert werden. Das bedeutet, die maximale Temperatur beim herkömmlichen Verfahren gemäß Fig. 7 beträgt 640°C, während diese maximale Temperatur bei der bevorzugten Ausführungsform gemäß Fig. 1 nur 610°C beträgt. Die eutektische Reaktion schreitet gleichmäßig mit einer relativ hohen Geschwindigkeit fort, und die Trägerplatte 4 kann in ausreichendem Maße mit der eutektischen Al-Si-Schicht 3b bei der relativ niedrigen Temperatur von 610°C benetzt werden.

4) Der Verfahrensschritt zur Anpassung der dünnen Aluminiumplatte 3 an das Siliziumsubstrat 2 wird bei der ersten Temperatur T1 durchgeführt, und somit ist es nicht erforderlich, die Anordnung 10 für eine lange Zeitdauer vorzuheizen. Das bedeutet, die Heizgeschwindigkeit der Anordnung 10 in dem Intervall P0 bis P1 gemäß Fig. 1 kann vergrößert werden im Vergleich mit dem Intervall P0 bis P10 gemäß Fig. 7. Da außerdem die eutektische Reaktion rasch fortschreitet bei höheren Temperaturen als der eutektischen Reaktionstemperatur TA, ist es nicht erforderlich, die Anordnung 10 für eine lange Zeitdauer bei der zweiten Temperatur T2 zu halten.

Bei dem Beispiel gemäß Fig. 1 kühlt die Anordnung

10 ab, unmittelbar nachdem die Temperatur der Anordnung 10 die zweite Temperatur T2 erreicht hat. Somit kann die gesamte Zeitdauer für den Lötvorgang verkürzt werden. Beispielsweise ist eine längere Zeitdauer als 170 Minuten erforderlich zur vollständigen Durchführung des herkömmlichen Lötvorganges, während nur 150 Minuten oder weniger erforderlich sind, um den Lötvorgang gemäß der bevorzugten Ausführungsform zu Ende zu bringen.

Infolgedessen werden gemäß der Erfindung verschiedene Probleme von herkömmlichen Lötprozessen gelöst, indem man den Heizungsablauf bei der Anordnung 10 in vorteilhafter Weise verbessert.

Nachstehend werden andere bevorzugte Ausführungsformen gemäß der Erfindung angegeben:

1) Das Material der Lotmetallschicht kann auch ein anderes Metall als Aluminium sein. Gemäß der Erfindung ist der Ausdruck "Metall" in einem breiten Sinne zu verstehen und bezeichnet nicht nur ein einfaches Metall, sondern auch eine Legierung. Beim Vorgang des Lötens eines Halbleitersubstrats auf einer Trägerplatte wird bevorzugt, ein Hartlotmetall mit einem hohen Schmelzpunkt zu verwenden. Beispielsweise können Ag-Cu-Lot, Silberlot (Pb-Sn-Ag-Lot) oder dergleichen anstelle von Aluminium verwendet werden.

Ein Lotmetall, das für die Anordnung 10 gewählt wird, kann ein Metall oder eine Legierung sein, das kein Eutektikum mit dem Halbleitermaterial des Substrats bildet. Beispielsweise kann das gewählte Lotmetall ein Peritektikum mit dem Halbleiter bilden. Somit ist die Temperatur TA nicht auf eine "eutektische Reaktionstemperatur" beschränkt und wird definiert als ein Grenzschnitt-Schmelzpunkt, bei dem ein Teil der Lotmetallschicht in Kontakt mit dem Halbleitersubstrat 2 geschmolzen ist.

Unter dem allgemeinen Konzept für die Temperatur TA werden die Temperaturen TA und TC für das Ag-Cu-Lot und das Silberlot (Pb-Sn-Ag) als Lotmetallschicht verwendet, wie es in Tabelle 1 angegeben ist. In gleicher Weise wie für die dünne Aluminiumplatte werden die erste Temperatur T1 und die zweite Temperatur T2 gemäß der Ungleichung (1) bestimmt.

Tabelle 1

	AG—Cu	Pb—Sn—Ag
TA	780°C	305°C
TC	312°C	122°C

2) Da die Härte einer Lotmetallschicht bei ihrer Rekristallisationstemperatur TC drastisch abnimmt, wird die erste Temperatur T1 bei Temperaturen gewählt, die in der beschriebenen Weise höher sind als die Rekristallisationstemperatur TC. Auch wenn daher die Rekristallisationstemperatur TC nicht bekannt ist, kann die erste Temperatur T1 gemäß dem nachstehenden Verfahren bestimmt werden:

Zunächst wird eine Probe der Anordnungen 10 hergestellt und der Wert der ersten Temperatur T1 willkürlich gewählt. Dann wird der Lötvorgang für die Probenanordnung durchgeführt, indem man die Probenanordnung gemäß dem Heizungsablauf aufheizt, der dem Heizungsablauf in Fig. 1 entspricht, wobei die erste Temperatur T1 auf den gewählten Wert gesetzt wird. Der gelöste Teil der erhaltenen Diodenanordnung wird analy-

siert, um zu beurteilen, ob der gewählte Wert geeignet ist zum Erweichen der Lotmetallschicht 3. Die Analyse kann durchgeführt werden durch Untersuchung der kristallographischen Struktur der Diode in ihrem gelöteten Bereich oder alternativ durch Messung der elektronischen Eigenschaften der Diode.

Wenn die eutektische Schicht 3b teilweise in das Substrat 2 vorsteht, wird daraus geschlossen, daß die Lotmetallschicht 3 nicht ausreichend erweicht worden ist bei dem gewählten Wert der ersten Temperatur T1. Infolgedessen kann dann ein neuer, höherer Wert gewählt werden, und der Lötvorgang wird durchgeführt für eine andere Probenanordnung, wobei man den neuen Wert für die erste Temperatur T1 verwendet. Die gelötete Diode wird dann ebenfalls analysiert.

Indem man das oben beschriebene Testverfahren wiederholt, kann der untere Grenzwert für die erforderliche erste Temperatur T1 gefunden werden. In einer Herstellungsstraße für Halbleiteranordnungen wird die erste Temperatur T1 auf einen Wert gesetzt, der höher ist als der untere Grenzwert, der aber niedriger ist als der Grenzschnitt-Schmelzpunkt TA.

Wenn andererseits die Erweichungskurve der Lotmetallschicht 3, welche den Zusammenhang zwischen der Härte und der Temperatur darstellt, bekannt ist, kann die erste Temperatur T1 bestimmt werden, ohne die dazugehörige Rekristallisationstemperatur TC aufzufinden. Das bedeutet, die kritische Temperatur, bei der die Weichheit des Lotmetalles drastisch ansteigt, wird aus der Erweichungskurve heraus gefunden, und die kritische Temperatur wird als unterer Grenzwert der ersten Temperatur verwendet.

Im folgenden wird der Anwendungsbereich der ersten Temperatur T1 betrachtet, der bestimmt wird mit einem der oben beschriebenen Verfahren. Der Durchmesser des Halbleitersubstrats 2 hängt von dem verwendeten Wafer ab. Somit ist es nützlich für Lötvorgänge in der Praxis, zu wissen, ob der untere Grenzwert der ersten Temperatur T1, der für einen Durchmesserwert des Substrats 2 gefunden wird, auch bei Substraten mit anderen Durchmessern angewendet werden kann.

Die Antwort hierzu wird erhalten aus der Regel, daß der untere Grenzwert der ersten Temperatur T1 im wesentlichen der gleiche ist für die jeweiligen Durchmesser, solange der Wert von Kraft pro Flächeneinheit, der zwischen dem Substrat 2 und der Lotmetallschicht 3 von dem Gewicht 1 aus wirkt, im wesentlichen den gleichen Wert hat.

Beispielsweise wird der Wert von Kraft pro Flächeneinheit, der auf die Anordnung 10 gemäß Fig. 2A aufgrund der Schwerkraft des Gewichtes 1 wirkt, folgendermaßen abgeschätzt:

$$0,8 \text{ kg}/\pi x (34,8 \text{ mm})^2 = 21,0 \text{ g}/\text{cm}^2 \quad (5)$$

Auch wenn somit der Durchmesser des Substrats von 69,5 mm verschieden ist, so ist das Resultat beim Löten das gleiche oder besser als bei einem Substrat 2 mit einem Durchmesser von 69,5 mm, solange die Masse des Gewichtes 1 so geändert wird, daß die Masse einen Wert von 21,0 g oder mehr hat, die auf jede Flächeneinheit der angegebenen Dimension der Grenzschnitt zwischen dem Halbleitersubstrat und der Lotmetallschicht wirkt.

In einem Falle, in dem beispielsweise die Masse des Gewichtes 1 einen Wert von 2 kg hat und die Fläche jeder Hauptfläche des Substrats 2 einen Wert von 34 cm² besitzt, so ist die Kraft, die auf jede Flächenein-

heit der Grenzschnitt zwischen dem Substrat 2 und der Lotmetallschicht 3 wirkt, gegeben durch

$$18,7 \text{ g}/\text{cm}^2 \quad (6)$$

wobei dieser Wert in der gleichen Größenordnung liegt wie der Wert von 21,0 g/cm² in der Beziehung (5). Somit kann der Grenzwert für die erste Temperatur T1 für beide Fälle verwendet werden.

Wenn andererseits die erste Temperatur T1 auf einen Wert gesetzt wird, der dicht bei dem Grenzschnitt-Schmelzpunkt TA liegt, wie nämlich in dem Beispiel gemäß Fig. 1, wird die Lotmetallschicht 3 gut erweicht, ohne den unteren Grenzwert bei der Masse des Gewichtes 1 zu berücksichtigen.

Zusammenfassend kann folgendes gesagt werden: Obwohl es sehr zweckmäßig und bequem ist, wenn der untere Grenzwert der ersten Temperatur T1 aus der Rekristallisationstemperatur TC der Lotmetallschicht ermittelt bzw. gefunden wird, kann der untere Grenzwert auch mit einem beliebigen Verfahren bestimmt werden, solange die Temperatur gefunden wird, bei der die Lotmetallschicht 3 auf einen vorgegebenen Wert erweicht wird. Der vorgegebene Wert ist derjenige, bei dem die lokalen Zwischenräume oder Bereiche ohne Kontakt im Grenzbereich zwischen dem Substrat und der Lotmetallschicht mit dem erweichten Teil der Lotmetallschicht gefüllt werden.

3) Die Heizungssteuerung kann so durchgeführt werden, daß die Anordnung 10 bei der zweiten Temperatur T2 für eine vorgegebene Zeitdauer gehalten wird, die von 0 verschieden ist. Obwohl die gewünschte Lötverbindung auch dann erreicht werden kann, wenn die Anordnung 10 abkühlt, unmittelbar nachdem die Anordnung 10 die zweite Temperatur T2 gemäß Fig. 1 erreicht hat, wird im Rahmen der Erfindung auch ins Auge gefaßt, die Heizungssteuerung so zu modifizieren, daß die Anordnung 10 für eine von 0 verschiedene Zeit bei der zweiten Temperatur T2 gehalten wird.

4) Fig. 5 zeigt einen Kammerofen oder Ofen 200 für Chargenbetrieb, der ebenfalls für die Durchführung des Lötverfahrens gemäß der Erfindung geeignet ist.

Der Ofen 200 für Chargenbetrieb weist ein Heizgehäuse 201 auf, das für hohe Temperaturen ausgelegt ist, und um das Heizgehäuse 201 sind Heizeinheiten 202 vorgesehen. Die Heizeinheiten 202 erzeugen Wärme, wenn sie von einer Stromversorgung 204 über Stromversorgungsleitungen 203 mit elektrischer Energie versorgt werden. Eine Steuerung 205 steuert die Ausgangsleistung der Stromversorgung 204. Der Innenraum des Heizgehäuses 201 steht über eine Rohrleitungsanordnung und Ventile in nicht dargestellter Weise mit einer Vakuumpumpe in Verbindung.

In dem Heizgehäuse 210 sind Anordnungen 10 und 10a übereinander gestapelt. Die obere Anordnung 10 hat den gleichen Aufbau wie die Anordnung in Fig. 2A und weist ein Gewicht 1 an ihrer Oberseite auf, während die anderen Anordnungen 10a kein derartiges Gewicht 1 haben.

Die Steuerung 205 hat einen Speicher, in welchem die Daten vorher abgespeichert sind, welche den Heizungsablauf gemäß Fig. 1 repräsentieren. Die Steuerung 205 erzeugt ein Signal, welches den Heizungsablauf repräsentiert, und gibt ein entsprechendes Signal an die Stromversorgung 204. In Abhängigkeit von diesem Signal liefert die Stromversorgung 204 den jeweiligen Heizeinheiten 202 elektrische Energie, so daß die Heizeinheiten 202 in Abhängigkeit von dem Heizungsablauf

gemäß Fig. 1 Wärme erzeugen. Die Anordnungen 10 und 10a werden dieser erzeugten Wärme ausgesetzt, und das Lötverfahren wird in jeder der Anordnungen 10 und 10a durchgeführt.

Da ein ganz wesentlicher Aspekt der Erfindung in der Ausgestaltung des Heizungsablaufes besteht, ist die Erfindung nicht auf die Verwendung eines bestimmten Ofens beschränkt. Vielmehr können die verschiedensten Ausführungsformen von Ofen verwendet werden.

5) In einem Falle, in welchem das Lötverfahren durchgeführt wird, um Leistungshalbleiteranordnungen herzustellen, wird das Material der Trägerplatte 4 aus solchen Materialien gewählt, deren Wärmeausdehnungskoeffizienten im wesentlichen gleich dem Wert des Materials ist, welches das Halbleitersubstrat 2 bildet. Bei dem Beispiel gemäß Fig. 2A beträgt der Wärmeausdehnungskoeffizient von Silizium $3,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, während der Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdän, welches die Trägerplatte 4 bildet, im Bereich von $4,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ bis $5,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ liegt. Eine derartige Wahl ist wichtig, um Beanspruchungen und Spannungen an der Grenzschicht zwischen dem Substrat 2 und der Trägerplatte 4 zu reduzieren, die hervorgerufen werden durch die Differenz zwischen den jeweiligen Wärmeausdehnungskoeffizienten, wenn die gelötete Anordnung 10 gekühlt wird oder sich abkühlt. Insbesondere ist diese Bedingung sehr wichtig, wenn die Fläche auf den Hauptflächen des Substrats 2 relativ groß ist, was bei Leistungshalbleiteranordnungen der Fall ist.

Die Erfindung kann Anwendung finden bei Herstellungsverfahren von verschiedensten Halbleiteranordnungen und Leistungshalbleiteranordnungen. Daher ist das Material der Trägerplatte 4 bei der Erfindung keinesfalls auf ein bestimmtes Material beschränkt. Weiterhin kann das elektronische Bauteil, welches in dem Halbleitersubstrat 2 gebildet wird, nicht nur eine Diode sein, vielmehr kann es sich dabei auch um einen Transistor, einen Thyristor oder andere Halbleiterkomponenten handeln. Weiterhin kann die Erfindung Anwendung finden sowohl bei diskreten Halbleiterelementen als auch bei integrierten Schaltungsanordnungen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Auflöten eines Halbleitersubstrats (2) auf eine Trägerplatte (4), die das Halbleitersubstrat (2) trägt, umfassend die folgenden Schritte:

- a) Herstellen einer Anordnung (10), in der eine Lotmetallschicht (3) zwischen dem Halbleitersubstrat (2) und der Trägerplatte (4) eingebracht ist;
- b) Aufheizen der Anordnung (10) auf eine erste Temperatur (T1), die höher ist als eine Rekristallisationstemperatur (TC) der Lotmetallschicht (3), aber niedriger als ein erster Schmelzpunkt (TA), bei dem ein Teil der Lotmetallschicht (3), der mit dem Halbleitersubstrat (2) in Kontakt steht, zu schmelzen beginnt;
- c) Halten der Anordnung (10) bei der ersten Temperatur (T1) für ein vorgegebenes Zeitintervall (P1 - P2);
- d) Aufheizen der Anordnung (10) auf eine zweite Temperatur (T2), die höher als der erste Schmelzpunkt (TA);
- e) Abkühlen der Anordnung (10) von der zweiten Temperatur (T2) auf eine dritte Tem-

peratur, die niedriger ist als die erste Temperatur (T1).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Temperatur (T1) so gewählt wird, daß eine Differenz zwischen der ersten Temperatur (T1) und dem ersten Schmelzpunkt (TA) kleiner ist als eine Differenz zwischen der ersten Temperatur (T1) und der Rekristallisationstemperatur (TC).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

daß ein Halbleitersubstrat (2) verwendet wird, das im wesentlichen aus Halbleitermaterial besteht, daß eine Lotmetallschicht (3) verwendet wird, die im wesentlichen aus Lotmetall besteht,

und daß die erste Temperatur (T1) gewählt wird innerhalb eines Temperaturbereiches um einen zweiten Schmelzpunkt (TB), bei dem eine Legierung zu schmelzen beginnt, die aus dem Halbleitermaterial und dem Lotmetall besteht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Temperatur (T1) so gewählt wird, daß sie zwischen den ersten und zweiten Schmelzpunkten (TA, TB) liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt (e) umfaßt, daß die Anordnung (10) auf die dritte Temperatur abgekühlt wird, unmittelbar nachdem die Anordnung (10) die zweite Temperatur (T2) erreicht hat.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Lotmetallschicht verwendet wird, die sich beim Schritt (d) in eine eutektische Schmelzschicht verändert, die im wesentlichen aus dem Halbleitermaterial (2) und dem Lotmetall (3) besteht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,

daß als Halbleitermaterial (2) Silizium verwendet wird, daß als Lotmetall (3) Aluminium verwendet wird, daß die ersten und zweiten Temperaturen (T1, T2) Werte von etwa 580°C bzw. 610°C haben, und daß das Zeitintervall (P1 - P2) 20 Minuten beträgt.

8. Verfahren zum Auflöten eines Halbleitersubstrats (2) auf eine Trägerplatte (4), die das Halbleitersubstrat (2) trägt, umfassend die folgenden Schritte:

- a) Vorgeben eines Lotmetalls;
- b) Auffinden einer Erweichungstemperatur, bei der das Lotmetall bis zu einem vorgegebenen Wert der Weichheit erweicht;
- c) Herstellen einer Anordnung (10), bei der eine Lotmetallschicht (3) aus dem Lotmetall zwischen dem Halbleitersubstrat (2) und der Trägerplatte (4) eingebracht ist;
- d) Aufheizen der Anordnung (10) auf eine erste Temperatur (T1), die höher ist als die Erweichungstemperatur, aber niedriger als ein Schmelzpunkt (TA) eines Teiles der Lotmetallschicht (3), die mit dem Halbleitersubstrat (2) in Kontakt steht;
- e) Halten der Anordnung (10) bei der ersten Temperatur (T1) für ein vorgegebenes Zeitintervall;
- f) Aufheizen der Anordnung (10) auf eine zweite Temperatur (T2), die höher ist als der Schmelzpunkt (TA);

g) Abkühlen der Anordnung (10) von der zweiten Temperatur (T2) auf eine dritte Temperatur, die niedriger ist als die erste Temperatur.

9. Verfahren nach Anspruch 8, 5
wobei ein Grenzbereich zwischen dem Halbleiter-
substrat (2) und der Lotmetallschicht (3) in der An-
ordnung (10), die beim Schritt (c) hergestellt wor-
den ist, Kontaktbereiche (6a), in denen das Halblei-
tersubstrat (2) mit der Lotmetallschicht (3) in Kon- 10
takt steht, und Bereiche (6b) ohne Kontakt auf-
weist, in denen das Halbleitersubstrat (2) nicht mit
der Lotmetallschicht (3) in Kontakt steht, sondern
lokale Zwischenräume in diesem Grenzbereich (6)
aufweist, wobei der vorgegebene Erweichungs- 15
spiegel so bestimmt wird, daß ein Teil der Lotmetall-
schicht (3), die beim Schritt (e) thermisch erweicht
wird, mit einer vorgegebenen Kraft auf den Grenz-
bereich (6) verformt werden kann, so daß die loka-
len Zwischenräume mit dem so verformten Teil des 20
Materials gefüllt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch
gekennzeichnet,
daß eine Anordnung (10) mit einem Aufbau ver-
wendet wird, bei dem die Trägerplatte (4) die Lot- 25
metallschicht (3), das Halbleitersubstrat (2) und ein
Gewicht (1) in der angegebenen Reihenfolge auf-
einander gestapelt werden,
und daß mit einer vorgegebenen Kraft, einschließ-
lich der Schwerkraft des Gewichtes (1) Druck aus- 30
geübt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß als Lotmetallschicht
(3) eine Lotmetallplatte (3) verwendet wird, die bei 35
der Herstellung der Lotmetallplatte durch Bearbei-
tung gehärtet worden ist, und daß die Erweichungs-
temperatur aus der Rekristallisationstemperatur
(TC) der Lotmetallplatte (3) ermittelt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

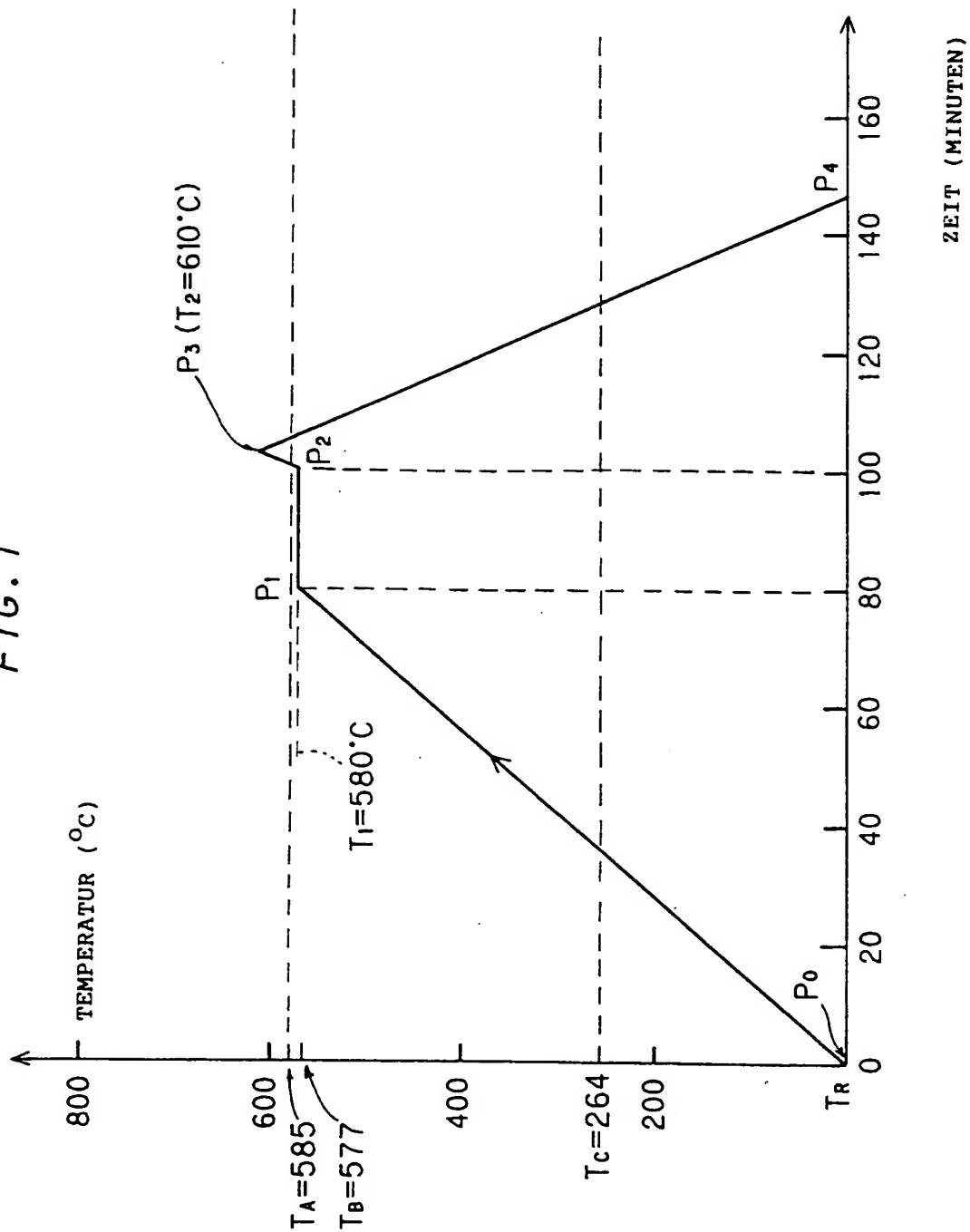


FIG. 2A

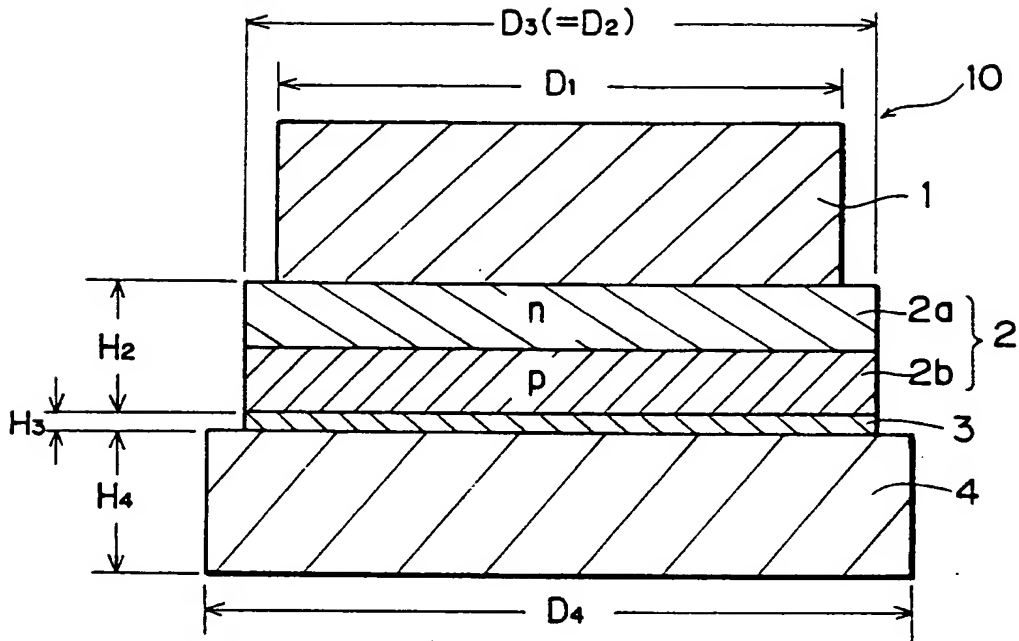


FIG. 2B

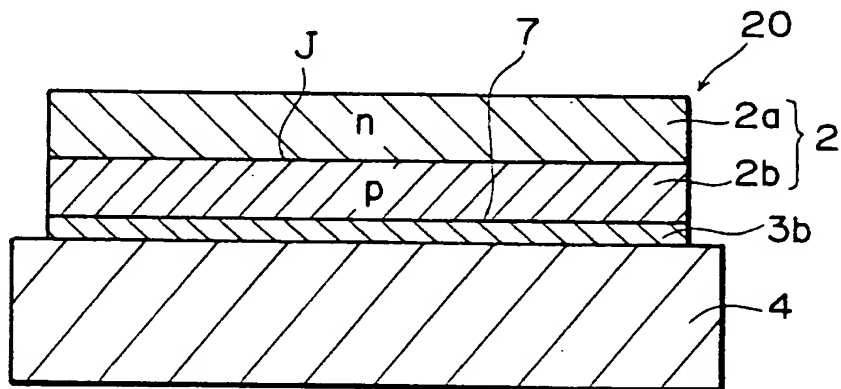


FIG. 3

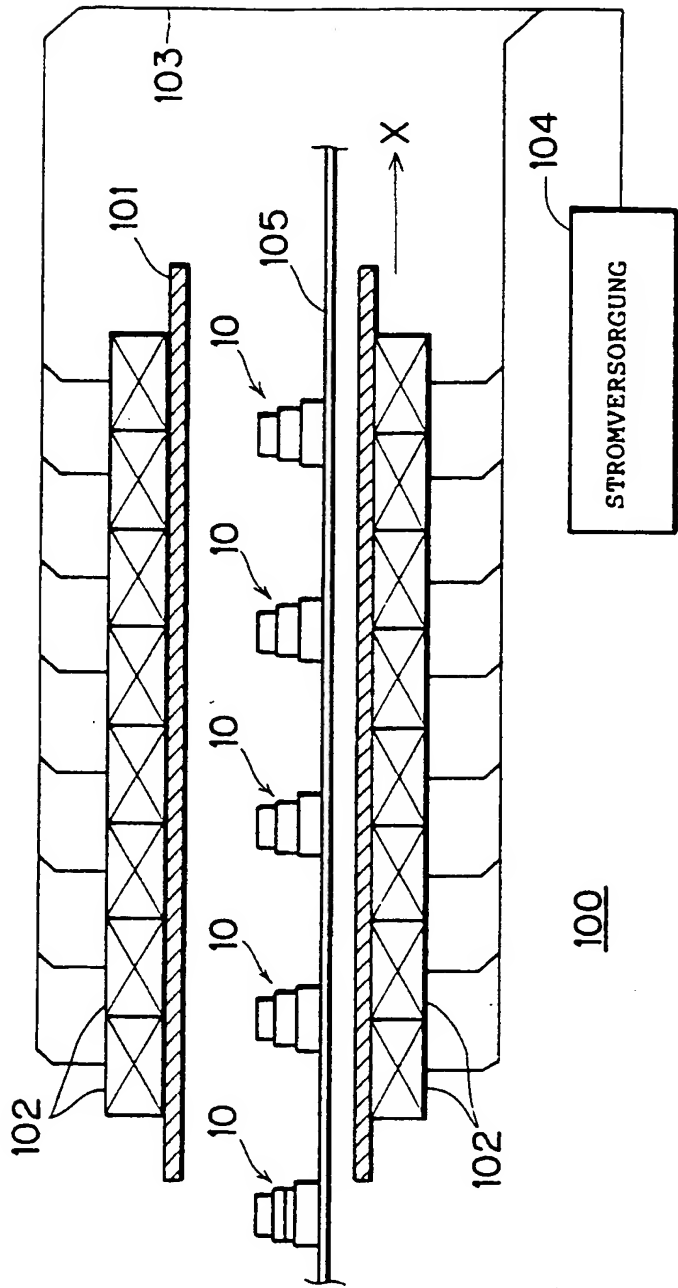


FIG. 4A

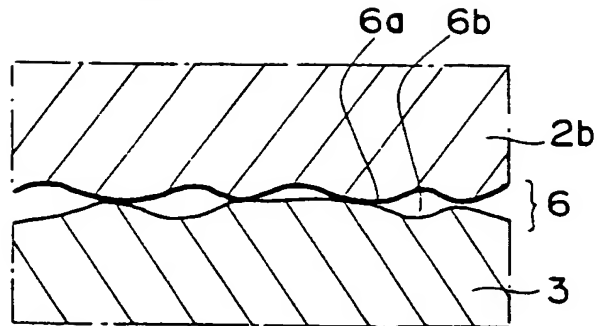


FIG. 4B

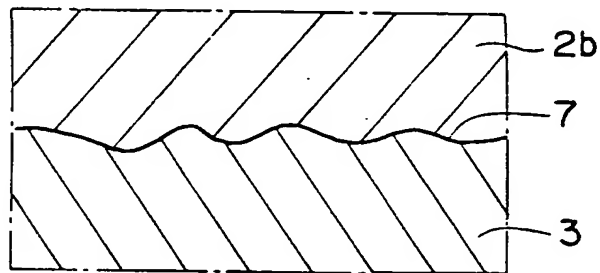


FIG. 4C

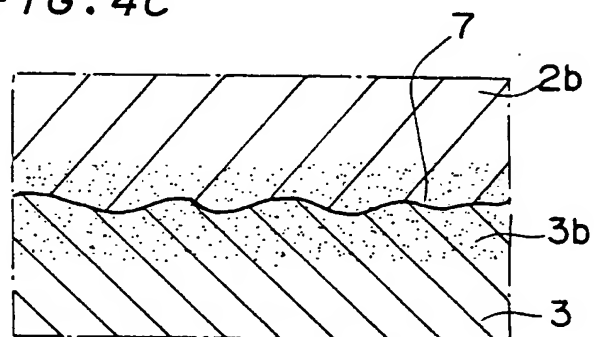


FIG. 5

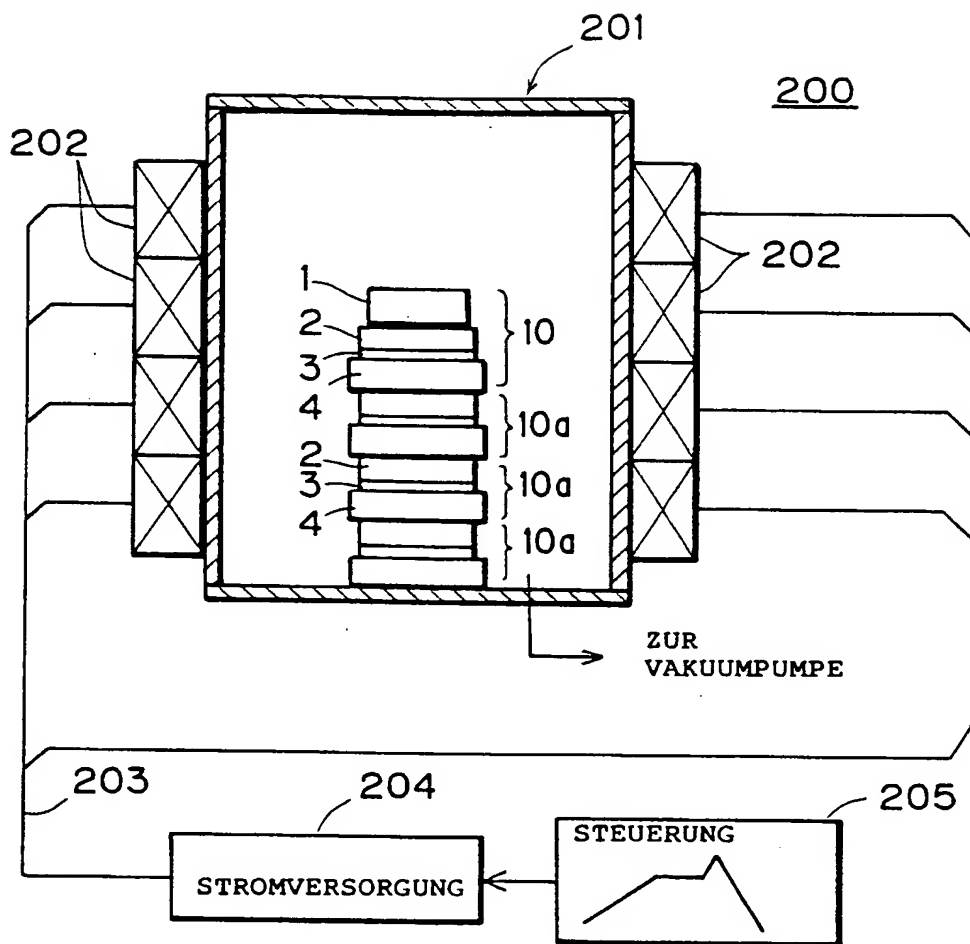


FIG. 6A

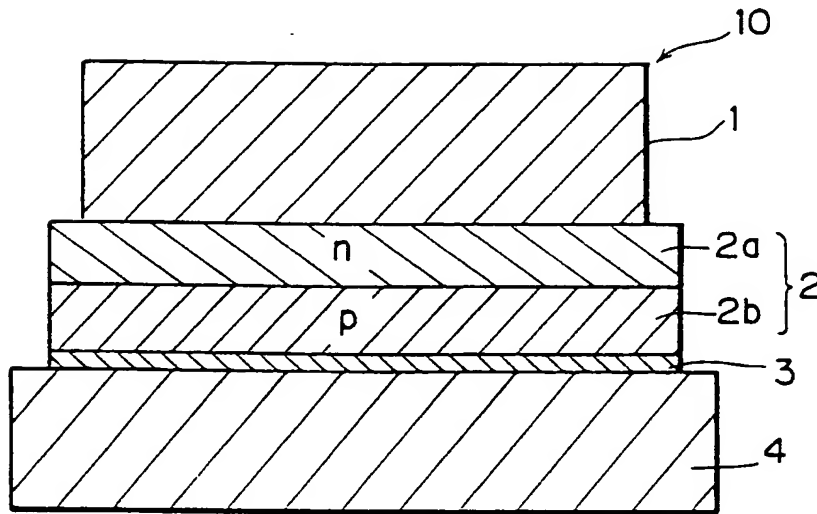


FIG. 6B

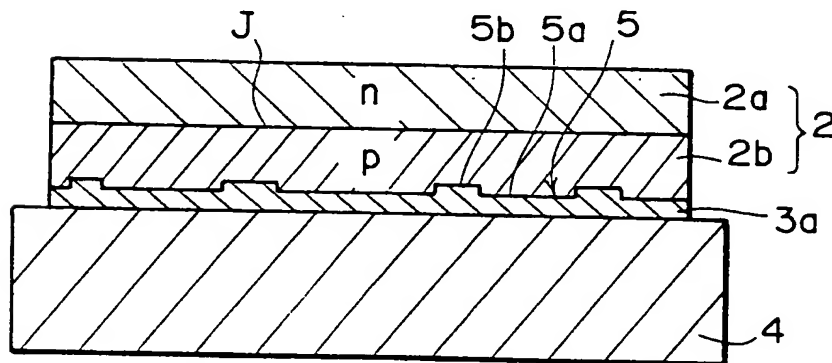


FIG. 7

